

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-087934

(43)Date of publication of application : 09.04.1993

(51)Int.Cl.

G01T 1/20

(21)Application number : 03-111005

(71)Applicant : HITACHI METALS LTD

(22)Date of filing : 16.04.1991

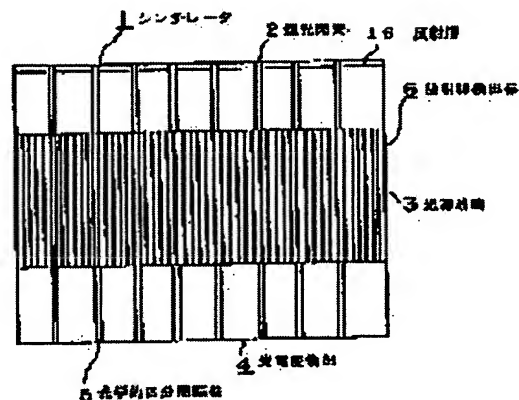
(72)Inventor : TSUKUDA YASUO

## (54) SCINTILLATOR, MANUFACTURE THEREOF AND RADIATION DETECTOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To enable detection of fine foreign particles to satisfy both a resolving power and sensitivity.

CONSTITUTION: A radiation detector 6 has almost an uniform thickness in a range of 50-1,000 $\mu$ m and a light shielding partition 2 is provided across the width thereof with a width thereof below 50 $\mu$ m and a pitch thereof below 200 $\mu$ m. It is made up of a scintillator section 1 having a light reflection layer 16 formed on a radiation irradiating surface, a light waveguide 3 which allows transmission maintaining an emission distribution with the scintillator section 1 in substance and a photoelectric convertor section 4 which has a partition 5 for optical division across the width and receives light from the light waveguide 3 to be converted into electricity. The light shielding partition 2 of the scintillator section 1 is arranged corresponding to the partition 5 for optical division of the photoelectric convertor section 4.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-87934

(43)公開日 平成5年(1993)4月9日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 T 1/20

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B 7204-2G

D 7204-2G

審査請求 未請求 請求項の数7(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平3-111005

(22)出願日 平成3年(1991)4月16日

(71)出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72)発明者 佃 康夫

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式

会社磁性材料研究所内

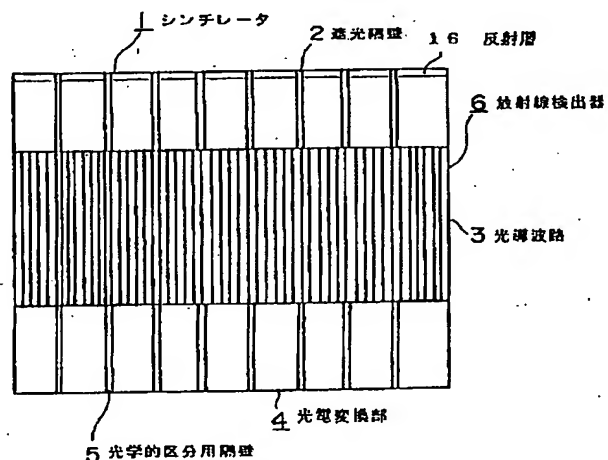
(74)代理人 弁理士 大場 充

(54)【発明の名称】 シンチレータ及びその製造方法、ならびに放射線検出器

(57)【要約】

【目的】 微小異物を解像度および感度ともに満足させつつ検知することを可能とする。

【構成】 放射線検出器を、50～1000 $\mu$ mの範囲でほぼ均等な厚さを有し、幅50 $\mu$ m以下、ピッチ200 $\mu$ m以下の遮光隔壁が厚さ方向に設けられており、放射線照射面に光反射層が形成されているシンチレータ部、該シンチレータ部による発光分布を実質上保持しつつ透過させる光導波路、および厚さ方向に光学的区分用隔壁を有し該光導波路から受光し、光電変換させる光電変換部からなり、シンチレータ部の遮光隔壁と光電変換部の光学的区分用隔壁が対応して設けられている構造とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 50～1000 $\mu$ mの範囲でほぼ均等な厚さを有し、幅50 $\mu$ m以下、ピッチ200 $\mu$ m以下の遮光隔壁が厚さ方向に設けられており、放射線照射面に光反射層が形成されていることを特徴とするシンチレータ。

【請求項2】 50～1000 $\mu$ mの範囲でほぼ均等な厚さを有し、幅50 $\mu$ m以下、ピッチ200 $\mu$ m以下の遮光隔壁が厚さ方向に設けられており、放射線照射面に光反射層が形成されているシンチレータ部、該シンチレータ部による発光分布を実質上保持しつつ透過させる光導波路、および厚さ方向に光学的区分用隔壁を有し該光導波路から受光し、光電変換させる光電変換部からなり、シンチレータ部の遮光隔壁と光電変換部の光学的区分用隔壁が対応して設けられていることを特徴とする放射線検出器。

【請求項3】 シンチレータの厚さが100～300 $\mu$ mである請求項1又は2に記載のシンチレータ又は放射線検出器。

【請求項4】 シンチレータに設けられた遮光隔壁のピッチが120 $\mu$ m以下である請求項1ないし3のいずれかに記載のシンチレータ又は放射線検出器。

【請求項5】 シンチレータが、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Pr、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Pr、F、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:Pr、Ce、F、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb、(Zn、Cd)S:Ag、及びLaOBi:Tiのいずれか一種の材料からなる請求項1ないし4のいずれかに記載のシンチレータ又は放射線検出器。

【請求項6】 50～1000 $\mu$ mの範囲でほぼ均等な厚さを有するシンチレータの放射線照射面に光反射層を設けた後、幅50 $\mu$ m以下、ピッチ200 $\mu$ m以下の遮光隔壁用溝をスライス加工によって形成することを特徴とするシンチレータの製造方法。

【請求項7】 光反射層は、光反射能を有する箔材を接着剤で接着したものである請求項6に記載のシンチレータの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、X線等の放射線を光に変換される固体シンチレータ、および微小な異物を放射線を利用して非破壊的に検知する放射線検出器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、放射線検出器としては、BGO単結晶（ゲルマニウム酸ビスマス）と光電子増倍管を組み合わせたもの、CsI:Tl単結晶またはCdWO<sub>4</sub>単結晶とフォトダイオードを組み合わせたものが用いられていた。しかし、BGOの場合には発光効率が低い（1%程度）ため、光電子増倍管やそれに付随した高圧電源が必要となるため高価であり、多素子化が困難であった。CsI:Tlは、効率は高いが潮解性で、かつ残光（X

線を断ってからの発光）現象があり、実用上問題があった。また、CdWO<sub>4</sub>は発光効率が低く、その上切断するときに劈開し易く、かつ毒性がある点で問題があった。更に、以上の単結晶シンチレータの共通する欠点として単結晶内における発光特性のばらつきが掲げられていた。

【0003】 以上の問題点を解決する手段として、希土類不活剤で活性化した希土類オキシサルファイドの多結晶焼結体が提案されている（特開昭62-52481号、同63-18280号参照）。

【0004】 一方、放射線検出器の構造としては種々のものが知られているが、前記希土類オキシサルファイドの多結晶焼結体からなるシンチレータを用いた最も一般的な放射線検出器の構造を図11に示す。図11において、真ちゅうからなる容器24の底部にシリコンフォトダイオードから構成される光電変換部23が配置され、容器24内には図示しないアルミニウムにより光反射面が形成されている。容器24内には、光電変換部23の上にシンチレータから出る蛍光X線をカットするための鉛ガラス層22が形成され、さらにその上にシンチレータ層21が形成されている。

【0005】 また、実開昭62-49779号では、図12に示すようにシンチレータ25と透明シリコンに蛍光材料としてフルオレセインを混合した接着剤層26とを層状に重ねてそれらの接触面積を大きくし、シンチレータ25の蛍光で接着剤層26に含まれる蛍光材料を一層確実に発光させて、シリコン光センサ29による検出をより確実化する提案がなされている。

【0006】 ところで、以上の放射線検出器の具体的な応用例の一つとして、被検査物に存在する異物を非破壊的に検知するイメージセンサがある。このセンサは被検査体にX線を照射し、透過したX線の強度に応じた強度の光がシンチレータで発生し、この光の強度分布によって異物の存在を検知するものである。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 被検査体中の異物が比較的大きい場合には、図11に示す従来の一般的構造の放射線検出器を用いたイメージセンサで十分であるが、異物が極めて微小（200 $\mu$ m以下）な場合には以下のような問題点があった。図13において、X線がシンチレータに照射されるとX線の強度に応じた光が発生するが、この光がシンチレータ内で散乱する結果、シンチレータを透過した光電変換部に達する光の強度分布は図13の曲線15に示すようにX線の強度分布（図13の曲線14）とは異なって低解像度のブロードな分布となる。従って、微小異物が隣接して存在する場合には、各微小異物の識別が困難となる。

【0008】 シンチレータ内の光散乱を防止する手法として、シンチレータの厚さを薄くすることが考えられ、これによって解像度を向上させることが可能となる。し

かし、シンチレータを薄くすると感度が低下する結果、低S/Nとなり実用上問題がある。すなわち、従来の一般的構造の放射線検出器では解像度、感度ともに満足させることができない。

【0009】前記実開昭62-49799号で提案された構造の放射線検出器は、当初の発光は複数個設けられた各シンチレータでなされるが、各シンチレータ間に蛍光材料を含む接着剤層が存在するため、結局は発光散乱が生じてしまう。

【0010】本発明は、微小異物を解像度および感度ともに満足させつつ検知することが可能なシンチレータ、およびこれを用いた放射線検出器の提供を目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明シンチレータは、50~1000 $\mu\text{m}$ の範囲でほぼ均等な厚さを有し、幅50 $\mu\text{m}$ 以下、ピッチ200 $\mu\text{m}$ 以下の遮光隔壁が厚さ方向に設けられており、放射線照射面に光反射層が形成されていることを特徴とする。本発明シンチレータの典型例正面図を図5に、また平面図を図6に示す。図5、6において、2は固体シンチレータを所定ピッチでスライスして設けた溝であり、これが遮光隔壁の役割をはたす。つまり、この溝が存在するためにシンチレータ1の各セクション(遮光隔壁間のシンチレータ)内で発生した光は他のセクションに漏洩することがない。

【0012】本発明における遮光隔壁は、図5および図6に示す溝に限らず、図7に正面図(断面図)を示すようにこの溝に光散乱を生じさせない物質を充填させたような形態であってもよい。生産効率、および精度を考えた場合、固体シンチレータをスライサで溝切り加工する手段が最も望ましい。

【0013】シンチレータに設けられる遮光隔壁の幅は50 $\mu\text{m}$ 以下である必要がある。幅が50 $\mu\text{m}$ を越えると不感知部分が増加し、高解像度を達成することができなくなるし、また極微小異物の検知が不能となるからである。望ましくは20 $\mu\text{m}$ 以下である。一方、他のセクションへの光漏洩を防止できる限り、幅の下限は限定されない。

【0014】本発明においては、遮光隔壁の幅の他にピッチを特定することが必要である。それは、ピッチが大きいと遮光隔壁で分離された各シンチレータセクションの幅が大きくなって当該セクションにおける光散乱が増大し、遮光隔壁を設けた意味を失い、高解像度を達成することができないからである。本発明が対象とする検知物の寸法をも考慮して、遮光隔壁のピッチを200 $\mu\text{m}$ 以下とした。望ましいピッチは120 $\mu\text{m}$ 以下である。なお、遮光隔壁の幅、ピッチはそれぞれ均等であることが望ましいが、本発明の目的を達成し得る範囲内で不均等であってもかまわない。

【0015】また、遮光隔壁は図7のようにシンチレータの厚さ方向に貫通して設けられていることが最も望ま

しいが、シンチレータの厚さ、遮光隔壁の幅、ピッチ、被検査体の寸法等の条件によっては、図5に示すように貫通していない遮光隔壁も許容される。さらに、遮光隔壁はシンチレータの厚さ方向に平行に設けるのが望ましいが、図8(光反射層は図示せず)に示すように非平行に設けられていてもかまわない。

【0016】次にシンチレータの厚さを限定する理由を説明する。厚さの下限を50 $\mu\text{m}$ とするのは、これ未満の厚さでは十分な感度を得ることができないからである。一方、上限を1000 $\mu\text{m}$ とするのは、これを越えると本発明で規定する幅、ピッチの遮光隔壁を設けるのが困難となるからである。望ましいシンチレータの厚さは100~300 $\mu\text{m}$ である。

【0017】本発明シンチレータの放射線照射面の光反射層16は、2つの目的のために形成される。1つめの目的は、遮光隔壁のための溝を効果的に形成することである。この溝は円盤状スライサで形成するが、このスライサは溝切り加工時に回転軸方向に振動するためスライサと溝側壁とが衝突し、溝側壁にカケを生じる場合がある。そこで溝切り加工を行う前に溝切り加工を行う面に光反射層を形成し機械的拘束力を付与することにより、溝切り加工時に生ずるスライサと溝側壁との衝突に対抗しカケの発生を防止しようとするものである。反射層は、箔状のものを接着剤を用いて接合する、反射能を有する粉末を含有する接着剤を塗布する、あるいは反射能を有する材料を蒸着する等の方法によって形成することができる。いずれにしても、表面に十分な機械的拘束力を与える程度にシンチレータに形成することが重要である。なお、接着剤を用いる場合は、放射線による劣化が少ないエポキシ系接着剤が望ましい。また、光反射能を有する材料としては、コスト等も考慮するとAlが望ましい。また、溝切り加工時にスライス面と平行な両側面からシンチレータを機械的に拘束すれば、カケ防止をより一層向上させることができる。2つめの目的は、放射線検出器の光電変換部からの出力を向上することである。すなわち、光反射層を放射線照射面に形成すれば、シンチレータ内の発光光の当該面から外部への漏洩が抑制される。その結果、光反射層を形成しない場合に比べ、光導波路および光電変換部に伝播する光量が多くなり、光電変換部からの出力が向上するのである。本発明シンチレータには、公知のすべてのシンチレータ材料を適用することができる。特に望ましい材料は、前述の希土類付活剤で活性化した希土類オキシサルファイドを主成分とする材料(具体的には、 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Pr}$ 、 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Pr}$ 、 $\text{F}$ 、 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ )、 $(\text{Zn}, \text{Cd})\text{S}:\text{Ag}$ 、および $\text{LaOBr}:\text{Tm}$ が掲げられる。

【0018】次に、本発明放射線検出器は、上述した本発明シンチレータによる発光分布を実質上保持しつつ光透過させる光導波路、および厚さ方向に光学的区分用隔壁を有し該光導波路から受光し光電変換させる光電変換

部からなり、シンチレータ部の遮光隔壁と光電変換部の光学的区分用隔壁が対応して設けられていることを特徴とする。以下図面を参照しつつ本発明放射線検出器を説明する。

【0019】図1に本発明放射線検出器の典型例（正面図）を示す。1はシンチレータで、その厚さ方向に遮光隔壁2を有する。シンチレータ1の下部には多数の光ファイバーから構成される光導波路3が、また光導波路3の下部にはシリコンホトダイオードから構成される光電変換部4が設けられている。光電変換部4には、シンチレータ1の遮光隔壁2と対応して光学的区分用隔壁5が設けられている。

【0020】光ファイバーから構成される光導波路3は、シンチレータ1により発生した光をその強度分布を實質上保持しつつ光電変換部に伝達するとともに、X線等の放射線を吸収する働きをする。シンチレータ1の厚さが厚ければX線等はシンチレータで十分に吸収することができるが、X線等を吸収するに足る厚さとした場合、本発明で規定する幅およびピッチの遮光隔壁を有するシンチレータ部を製造することが本発明の検討によると極めて困難であった。そこで、本発明では光導波路を設けたもので、シンチレータの一部を光導波路で代替したものと考えることができる。

【0021】光導波路は、図1では光ファイバーの例を示したが、これに限らず上述した機能を発揮しうるものであれば限定されない。また、光導波路の寸法等はその目的を達成する限り限定されないが、例えばシンチレータの厚さが200 $\mu$ m程度の場合、5mm程度の厚さがあれば十分にX線を吸収することができる。

【0022】光電変換部4では、光導波路3を伝播してきた光を受けるが、異物の存在によって発光強度が低下した部分に対応する部分のみの出力を低下させるように、シンチレータに設けられた遮光隔壁と対応する位置に光学的区分用隔壁を設けている。ここで、「対応する位置」とは、図1の場合にみならず、図2あるいは図3（光反射層及び光導波路は図示せず）に示す遮光隔壁と光学的区分用隔壁の位置関係にある場合も含む。光電変換部を構成する材料としては、シンチレータ材料の発光スペクトルとの感度スペクトルのマッチングを考慮して選定される。

【0023】以上説明した本発明放射線検出器の作用を図4（光反射層は図示せず）に基づき説明する。図4において、夾雑物8が存在する被検査体7に矢印方向にX線を一様に照射する。その透過X線の強度分布は、曲線10に示すように明瞭に夾雑物のプロフィールをとらえている。この透過X線は、シンチレータ1を照射する。シンチレータで発光した光は、多数の光ファイバーによって構成される光導波路3を伝播し、シリコンホトダイオードによって構成される光電変換部4に達する。ここでは、夾雑物の存在によって発光強度が低下した当該シリ

コンホトダイオードの1つのセクションのみの出力低下となり、曲線11に示す電流出力分布となる。

【0024】

【実施例】

（1）図4（光反射層は省略）のシンチレータ材料として、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S：Pr、Fの相対密度99.5%、肉厚200 $\mu$ mの焼結体を使用した。これに100 $\mu$ mピッチで幅20 $\mu$ mの遮光隔壁2を設けた。これはシリコンホトダイオードからなる光電変換部4の光学的区分用隔壁5の位置と対応している。被検査体7中に含まれるX線吸収係数が被検体材料より大きい夾雑物8を管電圧60kVのX線によって調べた。即ち、X線を被検体に一様に照射する。その透過X線の強度分布は、10に示す曲線のようにかなり鋭く夾雑物のプロフィールをとらえている。これが下方に設けたシンチレータを照射する。シンチレータ部分で発光した光は、多数の光ファイバーから構成される光導波路3を伝播し、下方のシリコンホトダイオード（光電変換部）に達する。ここでは夾雑物によって発光強度が低下した当該シリコンホトダイオード（光電変換部）の1つのセクションのみの出力低下となり、曲線11に示す出力分布となる。

【0026】（2）シンチレータ材料として、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S：Prの相対密度99.0%、肉厚150 $\mu$ mの焼結体を使用した。これに50 $\mu$ mから200 $\mu$ mまで、10 $\mu$ mおきのピッチをもつ13種類のシンチレータを用いて、図4（光反射層は図示せず）に示す構造のイメージセンサを作製した。これに管電圧60kVのX線を照射し、その濃淡分解能及びシリコンホトダイオードの出力比を検討した。ピッチ幅P（ $\mu$ m）と濃淡分解能R（ $\mu$ m）との関係は、図9の曲線Bの通りである。現在の市販イメージセンサの分解能が125 $\mu$ mであることから、濃淡分解能において現行品をこえるイメージセンサを作るためには、シンチレータ部分に設ける隔壁のピッチとしては125 $\mu$ m以下を必要とすることがわかる。しかし、図10のようにシリコンホトダイオードから得られる出力L（無次元）は、ピッチ幅を小さくすると低下していく。このようにシリコンホトダイオードの出力と濃淡分解能とは、相反する傾向を示すので、ピッチ幅は、出力重視であれば広く、分解能重視であれば狭くする必要がある。

【0027】（3）図1に示す放射線検出器のシンチレータ材料としてGd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S：Prの相対密度99.4%、肉厚220 $\mu$ mの焼結体を使用し、厚さ50 $\mu$ mのアルミ箔をエポキシ接着剤を3 $\mu$ mの厚さで塗布して接着して光反射層16を形成した。その後、ピッチ100 $\mu$ m、幅20 $\mu$ mで溝切り加工を行い、遮光隔壁2形成した。このときのシンチレータ欠損率と、X線源との間に被検体を置かずにシリコンホトダイオードからの出力を求めた。なお、アルミ箔を接着しない場合についても同様の評価を行った。X線の管電圧は60kVとした。結

果を表 1 に示すが、光反射層を形成することにより、欠損を防止し、かつ 15 % の出力向上を達成した。

【表 1】

光反射層	欠損率(%)	出力比
有り	0	1.15
無し	12	1.00

(4) 図 1 に示す放射線検出器のシンチレータ材料として  $Gd_2O_2S:Pr$  の相対密度 99.3 %、肉厚 200  $\mu m$  の焼結体を使用し、厚さ 30  $\mu m$  のステンレス箔をエポキシ接着剤を 3  $\mu m$  の厚さで塗布して接着し、光反射層 7 を形成した。その後、ピッチ 90  $\mu m$ 、幅 20  $\mu m$  で溝切り加工を行い、遮光隔壁 2 形成した。このときのシンチレータ欠損率と、X 線源との間に被検体を置かずにシリコンホトダイオードからの出力を求めた。なお、アルミ箔を接着しない場合についても同様の評価を行った。X 線の管電圧は 60 kV とした。結果を表 2 に示すが、光反射層を形成することにより、欠損を防止し、かつ 9 % の出力向上を達成した。

【表 2】

光反射層	欠損率(%)	出力比
有り	0	1.09
無し	12	1.00

【発明の効果】以上説明のように、本発明によりイメージセンサの濃淡分解能が大幅に改善され、これにより従来では識別できなかった 200  $\mu m$  以下の微細な異物を明瞭に区別できるようになり、当該製品の非破壊検査が可能となった。また、遮光隔壁の溝切り加工時に欠損を生じさないとともに、出力の向上を図ることを可能とした。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明放射線検出器の 1 実施例を示す正面図である。

【図 2】本発明放射線検出器におけるシンチレータ部の遮光隔壁と光電変換部の光学的区分用隔壁の対応関係を示す図である。

【図 3】本発明放射線検出器におけるシンチレータ部の遮光隔壁と光電変換部の光学的区分用隔壁の他の対応関係を示す図である。

【図 4】本発明放射線検出器の効果を説明するための図である。

【図 5】本発明シンチレータの一実施例を示す正面図である。

【図 6】本発明シンチレータの一実施例を示す平面図である。

【図 7】本発明シンチレータにおける遮光隔壁の例を示す断面図である。

【図 8】本発明シンチレータにおける遮光隔壁の他の例を示す断面図である。

【図 9】本発明放射線検出器におけるシンチレータ部及び光電変換部の隔壁ピッチ幅 P と濃淡分解能 R との関係を示すグラフである。

【図 10】本発明放射線検出器におけるシンチレータ部及び光電変換部の隔壁ピッチ幅 P と光電変換部からの出力 L との関係を示すグラフである。

【図 11】従来の放射線検出器を示す図である。

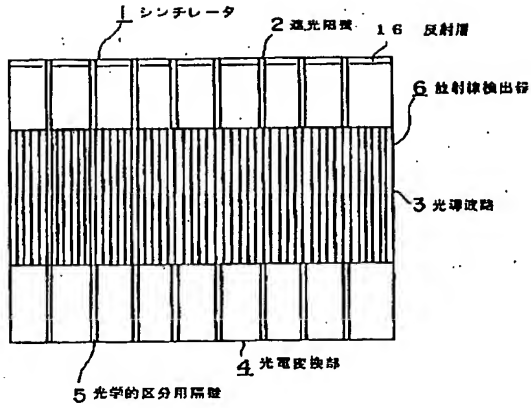
【図 12】実開昭 62-49799 号に開示された従来の放射線検出器を示す図である。

【図 13】従来のイメージセンサにより微小異物を検知した場合の光強度分布を示す図である。

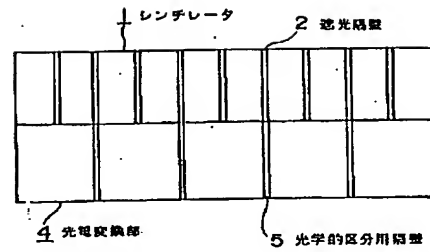
【符号の説明】

- 1 シンチレータ
- 2 遮光隔壁
- 3 光導波路
- 4 光電変換部
- 5 光学的区分用隔壁
- 6 放射線検出器
- 16 光反射層

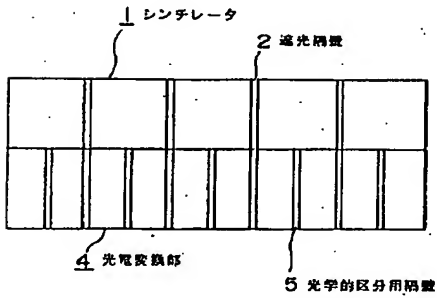
【図 1】



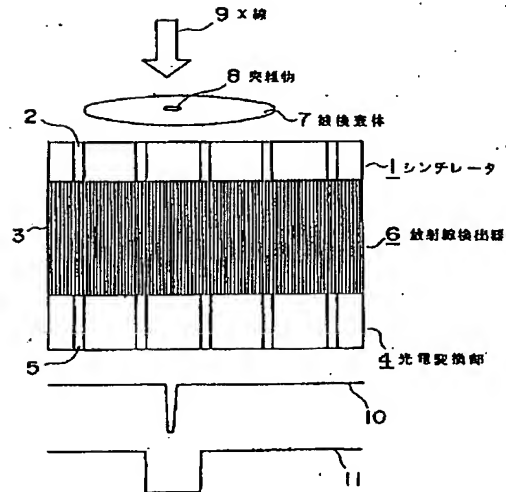
【図 2】



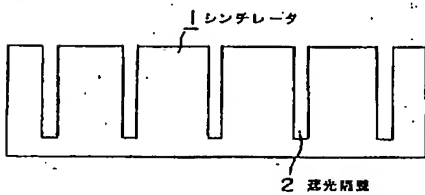
【図 3】



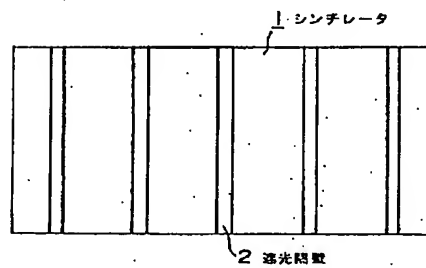
【図 4】



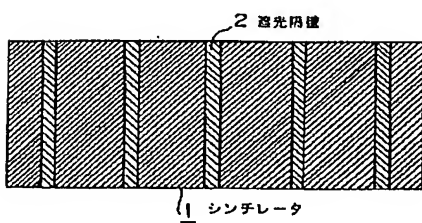
【図 5】



【図 6】

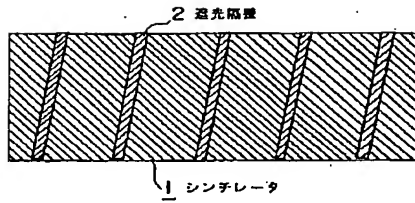


【図 7】

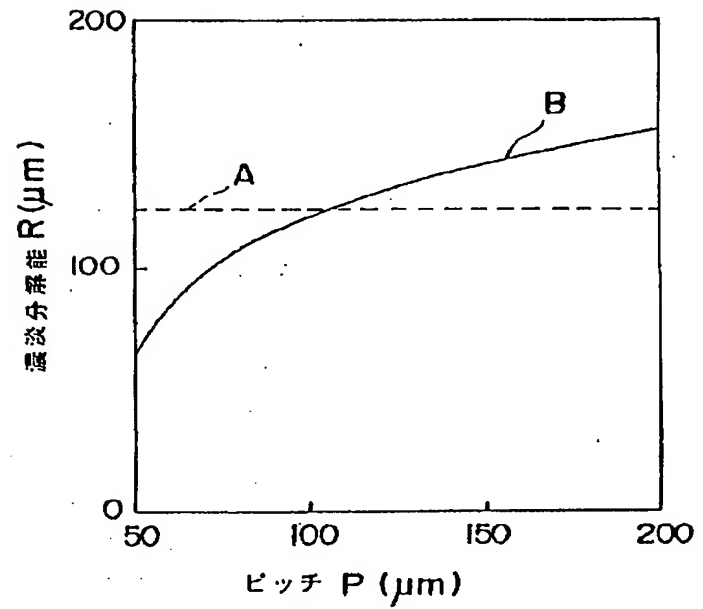




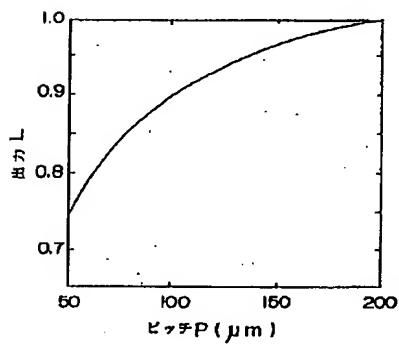
【図8】



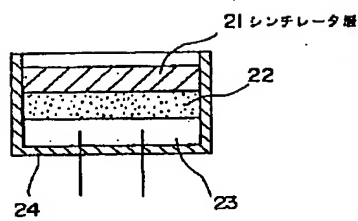
【図9】



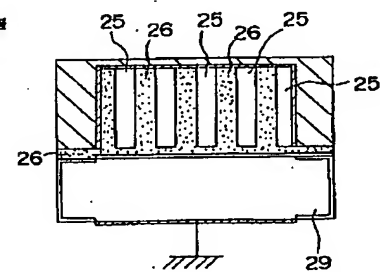
【図10】



【図11】



【図12】



【図 13】

